

Ekopaliwa źródłem czystej energii dla transportu

Andrzej Wasiak

Politechnika Białostocka, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania Produkcją
e-mail: a.wasiak@pb.edu.pl

Olga Orynych

Politechnika Białostocka, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania Produkcją
e-mail: o.orynych@pb.edu.pl

DOI: 10.12846/j.em.2013.04.09

Streszczenie

W perspektywie najbliższych lat wzrost liczby samochodów będzie przyczyniał się do zwiększenia zapotrzebowania na energię, a więc i zużycie ropy naftowej. Stwarza to problemy związane ze wzrostem zanieczyszczeń środowiska naturalnego, a szczególnie atmosfery, wymuszając zwiększanie wymagań w zakresie jego ochrony. Równocześnie, wiele sygnałów wskazuje na wyczerpywanie, przynajmniej tych najbardziej dostępnych, źródeł ropy naftowej. Konieczne jest więc prowadzenie intensywnych badań nad poszukiwaniem paliw zastępczych. Prowadzone są zarówno poszukiwania nowych źródeł paliw kopalnych (na przykład gaz łupkowy), jak i paliw alternatywnych. Alternatywą umożliwiającą wyrównanie potencjalnych niedoborów ropy naftowej staje się produkcja biopaliw ciekłych, które mogą, przynajmniej przez pewien czas, stanowić nowe źródło energii dla rynku motoryzacji i nie będą przynosić negatywnych skutków ekologicznych. Zastosowanie estrów metylowych oleju rzepakowego jest próbą odpowiedzi na rozwiązanie problemów energetyki i ochrony środowiska. Poziom substytucji paliw kopalnych przez RME ma wpływ na wielkość emisji CO₂, która jest uważana za główną przyczynę antropogenicznych zmian klimatu.

W artykule omówiono skalę potencjalnego zapotrzebowania na biopaliwo dieslowskie, które można stosować jako paliwo jednoskładnikowe, bądź w mieszaninie z paliwami mineralnymi oraz podstawowe technologie produkcji. Dokonano również analizy efektywności energetycznej podsystemu agrarnego, stanowiącego podstawę surowcową produkcji biopaliwa.

Słowa kluczowe

biopaliwa, biodiesel, rzepak, transport

Wstęp

Wzrost zagrożeń środowiska naturalnego oraz deficyt energii i surowców staje się największym problemem XXI wieku. Kopalne surowce energetyczne stają się coraz droższe i są przyczyną degradacji środowiska. Kurczące się zasoby surowcowe zmuszają do poszukiwań nowych źródeł energii i wytwarzania paliw alternatywnych.

Poszukiwane rozwiązania w gospodarce energetycznej idą w kierunku źródeł energii przyjaznych środowisku i przyczyniających się do zrównoważonego rozwoju poszczególnych regionów. Spośród alternatywnych źródeł energii bioenergetyka jest jednym z tych, które stwarzają nowe perspektywy dla sprawnego funkcjonowania transportu w trzech wymiarach: energetycznym, ekologicznym i gospodarczym.

Wzrost liczby pojazdów i urządzeń komunikacyjnych na świecie przyczynia się do ciągłego wzrostu zużycia energii. Transport jest odbiorcą 25% łącznego światowego zużycia energii (Jastrzębska, 2007). Biorąc pod uwagę światową tendencję ograniczania emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, można zrozumieć nacisk polityczny na ograniczanie emisji CO₂ w transporcie. Kraje UE politykę energetyczną formułują pod względem konkurencyjności rynku energii, zrównoważonego rozwoju, zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego krajów, ochrony środowiska naturalnego. Jako sposób na ochronę atmosfery wprowadzono w 2005 roku dyrektywę 2003/87/WE (*European Union's Emissions Trading System*, EU ETS), która obejmuje 5 sektorów przemysłu łącznie z energetyką i limituje emisję określonych ilości gazów (Poskrobko, 2009; Dyrektywa..., 2003).

Dotychczas głównym surowcem do produkcji paliw płynnych jest ropa naftowa. Wyczerpywanie się jej zasobów może przynieść skutki trudne do przewidzenia. Jej niedobór może stanowić czynnik destabilizujący rozwój gospodarczy świata do czasu upowszechnienia innego źródła paliw płynnych dla transportu. Istotnym problemem staje się nie tylko zapotrzebowanie na energię, ale zapotrzebowanie na jej określoną postać. Wzrasta więc znaczenie biopaliw ciekłych, które mogą stanowić alternatywę dla paliw ropopochodnych. Substytutami paliw kopalnych stają się surowce pochodzenia biologicznego przetworzone w biodiesel, olej roślinny lub bioetanol, biometanol (Papworth i in., 2007).

Biodiesel, będący sybstitutem oleju napędowego, jest wytwarzany z roślin oleistych, między innymi rzepak, słonecznika, soi i wielu innych (w Europie główną rośliną oleistą jest rzepak), a paliwa alkoholowe wytwarza się na drodze fermentacji cukrów, skrobi, a nawet odpowiednio przetworzonej celulozy. Wśród paliw wytwarzanych z roślin oleistych największe zastosowanie mają estry metylowe oleju rzepakowego, tak zwany biodiesel.

Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na kierunki optymalizacji produkcji biopaliw płynnych ze szczególnym uwzględnieniem etapu produkcji rolnej. Temat jest częścią szerszej zaplanowanych badań. W artykule przedstawiono wstępne wyniki teoretycznej analizy wpływu czynników produkcyjnych na efektywność energetyczną uprawy biomasy przeznaczonej do przetworzenia na biodiesel.

1. Emisja CO₂ generowana przez transport

Wzrostowi gospodarczemu na świecie towarzyszy wzrost zapotrzebowania na energię, w tym zużywaną w różnych środkach transportu. W 27 krajach Unii Europejskiej w 2007 roku zużycie energii finalnej wyniosło 1157,7 Mtoe, przy produkcji energii brutto na poziomie 1806 Mtoe (*toe - tona oleju ekwiwalentnego, energetyczny równoważnik tony ropy naftowej), co stanowiło 15,5% produkcji na świecie. W tym 377,2 Mtoe (32,6%) zużył transport, 322,9 Mtoe (27,9%) przemysł, 284,6 Mtoe (24,6%) gospodarstwa domowe oraz rolnictwo i 145,2 Mtoe (12,5%) sektor usług. Ogół produkcji energii brutto pochodził w: 36,4% z paliw płynnych, 24% z paliw gazowych, 18% z paliw stałych, 13,4% z energii nuklearnej, 5,4% z biomasy, 1,5% z hydroenergii. Najbardziej energochłonny dział gospodarki UE, sektor transportu, w 2007 roku zużył 377 mln ton energii finalnej (Menes i in., 2010).

Transport przyczynia się do emisji szkodliwych substancji do atmosfery będących wynikiem spalania paliw tradycyjnych takich jak: benzyna czy olej napędowy. Zgodnie z tabelą 2 największy prognozowany wzrost zużycia energii finalnej do 2020 roku przypadnie sektorom transportu (31,7%) i usług (31,3%); co więcej, tak silny wzrost jest prognozowany również w dalszych latach, podczas gdy w innych sektorach wzrost jest bardziej umiarkowany. Można sądzić, że wzrost zużycia energii w sektorze usług będzie głównie dotyczył energii elektrycznej, a w sektorze transportu – głównie paliw płynnych.

Tab. 1. Zapotrzebowanie na energię finalną w podziale na sektory gospodarki [Mtoe]

Sektory	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Przemysł	20,9	18,2	19,0	20,9	23,0	24,0
Transport	14,2	15,5	16,5	18,7	21,2	23,3
Rolnictwo	4,4	5,1	4,9	5,0	4,5	4,2
Usługi	6,7	6,6	7,7	8,8	10,7	12,8
Gospodarstwa domowe	19,3	19,0	19,1	19,4	19,9	20,1
RAZEM	65,5	64,4	67,3	72,7	79,3	84,4

Źródło: (Ministerstwo Gospodarki, 2009).

Tab. 2. Zmiana zapotrzebowania na energię finalną w podziale na sektory gospodarki w odniesieniu do roku 2006 [%]

Sektory	2010	2015	2020	2025	2030
Przemysł	-12,92	-9,09	0	10,05	14,83
Transport	9,15	16,2	31,69	49,3	64,08
Rolnictwo	15,91	11,36	13,64	2,27	-4,55
Usługi	-1,49	14,93	31,34	59,7	91,04
Gospodarstwa domowe	-1,55	-1,04	0,52	3,11	4,15
RAZEM	-1,68	2,75	10,99	21,07	28,85

Źródło: opracowanie własne.

Każdy z tych sektorów wprowadza do atmosfery ilość dwutlenku węgla zależną od zużycia energii. Zależność pomiędzy ilością zużytej energii a ilością emitowanego CO₂ nie jest wprost proporcjonalna, gdyż jest uwarunkowana również przez rodzaj wykorzystywanego surowca energetycznego. Z paliw kopalnych największą emisję dwutlenku węgla powoduje węgiel kamienny, mniejszą ropa naftowa czy gaz ziemny, a na przykład biomasa roślinna, wprawdzie w chwili spalania powoduje emisję CO₂, ale jest to ta ilość, która została pochłonięta z atmosfery przez roślinę w trakcie jej życia, więc bilans jest globalnie zrównoważony, choć okresy pochłaniania i emisji są przesunięte w czasie, co powoduje chwilowe niezrównoważenie zależne od rodzaju biomasy. Pokazany w tabeli 1 znaczny wzrost zapotrzebowania transportu drogowego na energię wskazuje również na perspektywę istotnego wzrostu emisji CO₂ pochodzącej z tego źródła.

Udział krajów Unii Europejskiej w światową emisję dwutlenku węgla do atmosfery spowodowany przez środki transportu przedstawia tabela 3.

Tab. 3. Emisja CO₂ (*) z sektora transportu krajów UE w latach 1990 – 2007 roku [mln ton]

	Lotnictwo ogółem	Lotnictwo krajowe (**)	Lotnictwo międzynarod.	Transport drogowy	Transport kolejowy	Żegluga ogółem	Żegluga krajowa (**)	Żegluga międzynarod.	Inne gałęzie	Ogółem transport	Emisja całkowita (***)
1990	82,7	17,1	65,6	704,3	14,1	129,2	20,6	108,6	11,3	941,6	4573,7
1995	99,8	16,6	83,2	767,4	10,2	127,2	18,8	108,4	9,2	1013,8	4341,7
2000	134,6	21,7	112,9	842,2	9,4	149,6	18,3	131,3	9,3	1145,0	4349,9
2005	149,6	21,5	128,1	895,2	8,0	182,5	20,9	161,5	9,7	1244,9	4521,1
2007	159,6	22,2	137,4	905,0	8,2	195,4	21,9	173,5	8,7	1276,9	4497,5

* włącznie z tankowaniem środków transportowych opuszczających obszar UE

** bez tankowania samolotów i statków opuszczających obszar UE

*** włącznie z tankowaniem środków transportowych opuszczających obszar UE

Źródło: (European Commission, 2010).

Analiza danych zamieszczonych w tabeli 3 wskazuje, że prawie we wszystkich gałęziach transportu obserwuje się wzrost emisji, chociaż dynamika wzrostu ma tendencję malejącą. Liczby te mogą dowodzić, iż konstruktorzy środków transportu efektywnie wprowadzają rozwiązania ograniczające emisję. Tym niemniej tendencja wzrostu liczby pojazdów, widoczna między innymi na przykładzie Polski (tab. 4 i 5), zmusza do poszukiwań w dziedzinie redukcji emisji CO₂.

Tab. 4. Pojazdy samochodowe z napędem benzynowym w Polsce*

	Samochody osobowe			Samochody ciężarowe		Ciągniki siodłowe	Auto-busy	Samochody specjalne
	razem	w tym o pojemności silnika		razem	w tym o ładowności 1500 i więcej			
		do 1399 cm ³	1400-1999 cm ³					
Benzyna								
Polska 2009	10396487	6506171	3541986	724305	31211	1852	4496	26139
Polska 2010	10516590	6581249	3583310	724920	30569	1766	4380	26283

* według centralnej ewidencji pojazdów prowadzonej przez Ministerstwo Spraw Wewnętrznych i Administracji

Źródło: opracowanie własne na podstawie (GUS, 2011).

Tab. 5. Pojazdy samochodowe z silnikami na olej napędowy w Polsce*

	Samochody osobowe			Samochody ciężarowe		Ciągniki siodłowe	Autobusy	Samochody specjalne
	razem	w tym o pojemności silnika		razem	w tym o ładowności 1500 i więcej			
		do 1399 cm ³	1400-1999 cm ³					
Olej napędowy								
Polska 2009	3370879	142360	2613745	1613808	521879	193944	86535	94751
Polska 2010	3871105	164870	3038905	1785121	539185	207643	88313	102825

* według centralnej ewidencji pojazdów prowadzonej przez Ministerstwo Spraw Wewnętrznych i Administracji

Źródło: opracowanie własne na podstawie (GUS, 2011).

2. Stosowanie biopaliw

Przemysł samochodowy, a przede wszystkim przemysł paliwowy coraz częściej zmniejszają zużycie paliwa poprzez modernizację konstrukcji silników oraz stosowanie paliw alternatywnych, w tym biopaliw.

W krajach Unii Europejskiej znaczący udział w zużyciu paliw ciekłych w transporcie przypada na olej napędowy. Udział biopaliw w całkowitym zużyciu jest niewielki (około 2,6%), jednak w tym dominuje biodiesel (około 3,4% paliw do silników wysokoprężnych), podczas gdy udział biopaliw w benzynach sięga zaledwie około 1,1%. Udział biopaliw jest wyraźnie różny w różnych krajach UE, przy czym w tej dziedzinie przodują Niemcy i Francja (European Commission, 2010).

Należy również zauważyć, że w wielu krajach w odczuciu społecznym stosowanie biopaliw nadal wzbudza wiele kontrowersji wynikających z braku wystarczających danych i niewystarczającej ich popularyzacji. Rozwój produkcji i stosowania biopaliw warunkuje szereg czynników mogących wpływać zarówno pozytywnie, jak i negatywnie (Orynych, 2012).

Analiza rynku biopaliw dostarcza niezbędnej wiedzy odnośnie potencjału do stosowania biokomponentów i biopaliw. Dotychczasowy poziom wykorzystania biopaliw umożliwia również gromadzenie danych dotyczących trwałości silników i innych elementów pojazdów dotychczas przystosowanych do spalania paliw tradycyjnych różniących się pod względem struktury chemicznej i właściwości od biopaliw. Dane te mogą służyć zarówno do celów promocji biopaliw, jak i dostarczać

konstruktorom pojazdów informacji niezbędnych do dostosowywania ich konstrukcji do spalania biopaliw czystych, lub nadal jako komponentów dodawanych do klasycznych paliw ropopochodnych.

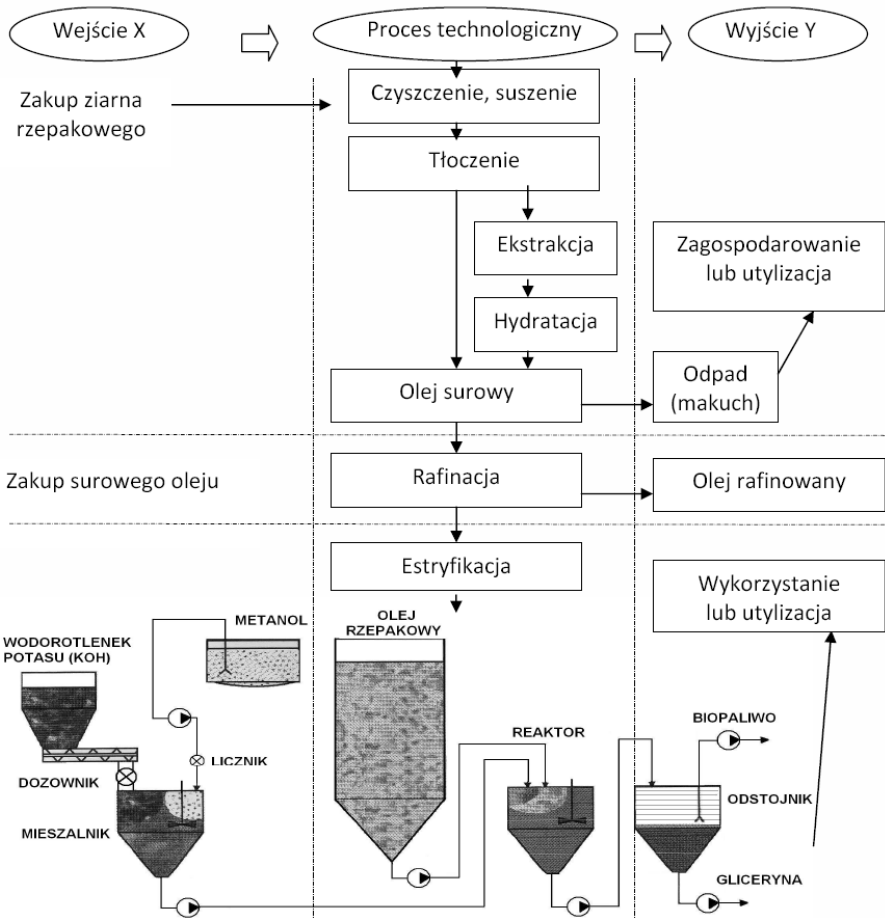
3. Produkcja biodiesla

Istotnym czynnikiem decydującym o przyszłości biopaliw jest uzyskanie znacznego zysku energetycznego, czyli wytworzenie biopaliwa przy użyciu takiej technologii, która wymaga minimalnego wkładu energii w produkcję, a wartość stosunku energii uzyskanej przy spalaniu paliwa do energii włożonej w jego wytworzenie jest jak największa. Wskaźnik ten powinien być uznany za główną charakterystykę decydującą o doborze technologii wytwarzania paliwa.

Do silników z zapłonem samoczynnym jako paliwa alternatywne oferowane są przeważnie estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych, wytwarzane z olejów roślinnych. W produkcji biopaliw zawsze występuje konieczność koordynacji pomiędzy dwoma podsystemami produkcyjnymi: podsystemem rolnym i podsystemem przemysłowym, z których każdy charakteryzuje się różnym rozkładem czasowym produktywności i różnymi miejscami powstawania produktów i odpadów.

Schemat produkcji biodiesla (rys. 1) przedstawia produkcję przemysłową, która może być realizowana w kilku wariantach synchronizacji tych podsystemów. Może opierać się na: zakupie ziarna, bądź zakupie oleju, oraz następującej kolejno estryfikacji. Jeśli ścieżka technologiczna rozpoczyna się od zakupu ziarna, to obejmuje następujące procesy: czyszczenie surowca, suszenie i poddawanie działaniu termicznemu. Po przygotowaniu surowca wykonuje się tłoczenie przy użyciu pras ślimakowych. Makuchy zawierające olej w ilości około 20% poddawane są ekstrakcji. Kolejny etap to filtracja destylacja w trakcie, której olej oczyszczany z heksanu. Jeśli technologia przetwórcza rozpoczyna się od zakupu surowego oleju (zawierającego produkty uboczne po ekstrakcji), to niezbędna jest jego rafinacja (odśluzowywanie, odkwaszanie, wybielanie, dezodoryzacja, odwoskowanie). Surowy olej rzepakowy nie znajduje praktycznego zastosowania w silnikach wysokoprężnych ze względu na niską liczbę cetanową, dużą lepkość, obecność wolnych kwasów tłuszczowych oraz braku stabilności, ujawniającej się w postaci zmian zachodzących w czasie magazynowania (Białecka-Florjańczyk i in., 2009). Dlatego często stosowanym procesem modyfikacji chemicznej olejów roślinnych jest proces ich transestryfikacji, powodującej przemianę trójglicerydów surowego oleju rzepakowego, w reakcji z metanolem, prowadzonej w obecności katalizatora (najczęściej wodorotlenku potasu),

do metylowych estrów kwasów tłuszczowych. Produkt finalny oznaczany jest symbolem RME (Rapeseed Oil Metyl Ester). Produktem ubocznym tego procesu jest glicerol, który odpowiednio oczyszczony ma zastosowanie w przemyśle kosmetycznym, farmaceutycznym i spożywczym. W porównaniu z paliwem ropopochodnym wyprodukowany biodiesel nie przyczynia się do wzrostu emisji dwutlenku węgla, gdyż pochodzi z surowca roślinnego, poza tym nie jest toksyczny i również ulega biodegradacji, a podczas spalania daje mniej zanieczyszczeń (Sitnik, 2004).



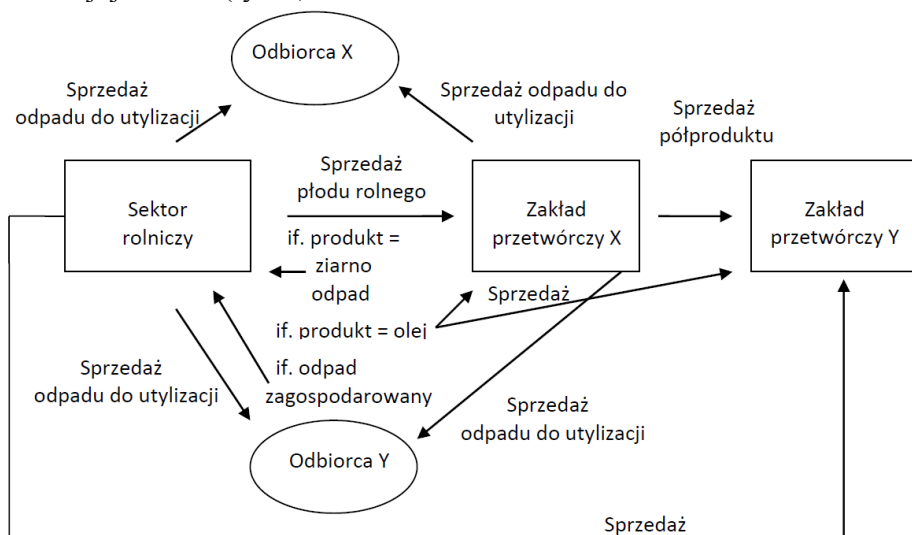
Rys. 1. Przykładowy system produkcji biodiesla

Źródło: opracowanie własne.

Technologia przetwarzania surowca do paliw silnikowych składa się z określonych etapów procesowych, przez które musi przejść kolejno przerabiany surowiec. Drogę połączenia wyników z poszczególnych etapów procesowych należy ocenić pod względem oddziaływania na środowisko oraz efektywności energetycznej i materialnej danej technologii. Istotnym problemem jest optymalizacja tych efektywności, czyli stosunek energii otrzymanej podczas spalania biodiesla do wkładów energii w procesie, a także ilość otrzymanego biodiesla w stosunku do wkładów materialnych na poszczególnych etapach tej produkcji. Niebagatelne znaczenie ma też wykorzystanie surowców odpadowych, logistyka, dystrybucja i potencjał surowcowy regionu, które przyczyniają się do poprawy ekonomiki procesu.

4. Gospodarowanie półproduktami i surowcami opadowymi

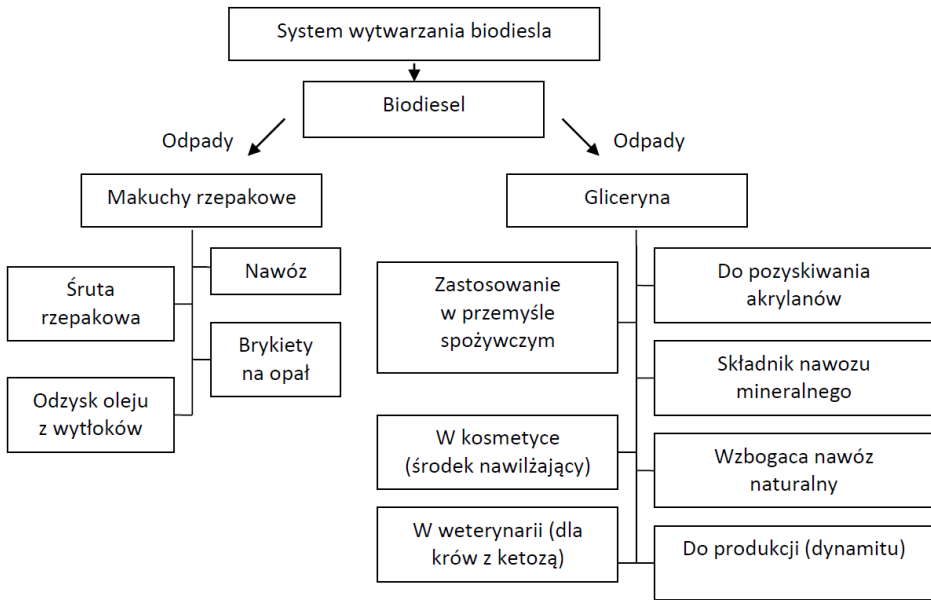
System wytwarzania biopaliw, ze względu na wykorzystywanie w nim surowca rolniczego opiera się na podsystemach: rolnym i przetwórczym o zróżnicowanej wydajności czy technologii produkcji. Każdy z nich składa się z szeregu procesów elementarnych, w których zachodzi konwersja masy i energii. Technologie te bazują na potencjalnych przetwórcach, w których relacje są łańcuchowe, a dopuszczalna liczba kombinacji jest duża (rys. 2).



Rys. 2. Przykładowe kombinacje związane z produkcją ON BIO

Źródło: opracowanie własne.

Przykładowo, małe instalacje korzystają z tańszego wyposażenia technicznego, dystrybucji, logistyki, gdzie produkty przerobu stosuje się najczęściej w najbliższym otoczeniu, co pozwala na obniżenie kosztów produkcji. Natomiast duże instalacje na skalę przemysłową korzystają z transportu po znacznie wyższych kosztach, ale za to mają sprawniejszy system logistyki i organizacji. Właściwe zagospodarowanie półproduktów i odpadów (rys. 3) decyduje o zrównoważonym rozwoju oraz sprawności energetycznej i materialnej. Skala produkcji (wielkość zakładu przetwórczego) decyduje o niezbędnym dla zaspokojenia ciągłości dostaw surowca areale współpracujących gospodarstw rolnych. Wpływa również na charakter współpracujących plan-tacji.



Rys. 3. Formy zagospodarowania odpadów

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku stosunkowo małych instalacji można wyobrazić sobie ulokowanie całej plantacji na spójnym powierzchniowo i geograficznie obszarze. W przypadku dużego zapotrzebowania na surowiec bardziej prawdopodobna jest współpraca z rozproszonymi plantacjami. Każdy z tych przypadków charakteryzuje się innym zapotrzebowaniem na czynniki produkcji, inną logistyką. Wszystkie te czynniki po-

wodują, że efektywność systemów produkcyjnych złożonych z podsystemów rolnego i przetwórczego może zależeć od szeregu czynników, a właściwy dobór tych czynników powinien doprowadzić do optymalizacji systemu i zachodzących w nim procesów pod względem zarówno wydajności masy biopaliwa, sposobu zagospodarowania odpadów, jak i efektywności energetycznej. Można również wykazać związek pomiędzy sposobem zagospodarowania odpadów a wydajnością energetyczną systemu. Synchronizacja podsystemów rolnego i przetwórczego może również wymagać tworzenia buforów magazynowych dla przechowania półproduktów.

5. Analiza efektywności plantacji energetycznej

Zużycie energii powinno być optymalizowane na każdym etapie wytwarzania biopaliwa. W obecnej pracy zostaną pokazane warianty dotyczące uprawy roślin energetycznych, na przykład rzepaku przeznaczonego do produkcji biodiesla oraz wskazane drogi potencjalnej optymalizacji.

Uprawa roślin energetycznych wiąże się z koniecznością dokonywania szeregu operacji agrotechnicznych, z których każda wymaga zużycia energii – przede wszystkim w postaci paliwa płynnego do napędu maszyn rolniczych. Ilość zużytego paliwa na każdą z operacji zależy od długości trasy przebytej na uprawianym polu. Każda maszyna może obrobić w pojedynczym przebiegu określoną konstrukcyjnie szerokość pola. Całość powierzchni pola jest obrabiana poprzez ruch maszyny w równoległych pasach. W przypadku pola o kształcie prostokątnym o długości L i szerokości D , a więc powierzchni $A=LD$, liczba przebiegów koniecznych do pokrycia całej powierzchni wynosi:

- w przypadku pasów o szerokości d równoległych do długości pola:

$$n_1 = \frac{D}{d} = \frac{L \times D}{L \times d} = \frac{A}{a_1} \quad (1)$$

Czyli jest ona równa stosunkowi szerokości pola do szerokości pasa obróbki lub stosunkowi powierzchni obrabianego pola do powierzchni pojedynczego pasa obróbki $a_1=Ld$,

- w przypadku pasów równoległych do szerokości pola:

$$n_2 = \frac{L}{d} = \frac{L \times D}{D \times d} = \frac{A}{a_2} \quad (2)$$

Długość przebytej drogi jest w pierwszym przypadku równa:

$$Dr_1 = n_1 \times L = \frac{D}{d} \times L \quad (3)$$

a w drugim:

$$Dr_2 = n_2 \times D = \frac{L}{d} \times D \quad (4)$$

Czyli obydwaj warianty wiążą się z przebyciem tej samej drogi, a więc i tym samym zużyciem energii.

Jeśli pole ma kształt równoległoboku o długości L i szerokości D , to jego powierzchnia $A_2=LD$, zaś ukośny bok ma długość:

$$C = \frac{D}{\sin\alpha} \quad (5)$$

W takim przypadku maszyna poruszająca się wzdłuż długości pola przy pojedynczym przebiegu obrabia fragment o powierzchni $a_1=Ld$, a liczba koniecznych do przebycia pasów wynosi n_1 , tak jak w przypadku prostokąta (równanie 1).

Maszyna poruszająca się wzdłuż boku C , obrabiając fragment o szerokości d , przy jednorazowym przebiegu pokryje powierzchnię:

$$a_3 = C \times d = \frac{D \times d}{\sin\alpha} \quad (6)$$

a liczba przebiegów wyniesie:

$$n_3 = \frac{L \sin\alpha}{d} \quad (7)$$

Przebyta droga wyniesie więc:

$$Dr_3 = n_3 \times C = \frac{L \sin\alpha}{d} \times \frac{D}{\sin\alpha} = \frac{LD}{d} \quad (8)$$

W tym więc przypadku przebyta droga również nie zależy od wybranego kierunku jazdy. Ilość energii zużytej w procesach agrotechnicznych wyniesie więc:

$$E_{zuż} = \sum_{i=1}^m \frac{L \times D}{d_i} \times \omega_i \times W_{pal} \quad (9)$$

co po wyciągnięciu stałych przed znak sumy przyjmuje postać:

$$E_{zuż} = W_{pal} \times A \times \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i}{d_i} \quad (10)$$

gdzie:

ω_i – zużycie paliwa na jednostkę przebytej drogi w i -tym zabiegu agrotechnicznym,

W_{pal} – wartość opałowa paliwa,

m – liczba operacji agrotechnicznych (w każdej z i operacji szerokość obrabianego pola d_i oraz jednostkowe zużycie paliwa ω_i - mogą być różne).

Efektywność energetyczną plantacji można wyrazić poprzez stosunek $E_{bio}/E_{zuż}$, bądź $(E_{bio}-E_{zuż})/E_{zuż}$

Składową E_{bio} , czyli całkowita ilość energii zawartej we wszystkich formach biopaliw uzyskanych z danej plantacji można wyrazić jako:

$$E_{bio} = A \times M_{plon} \times \gamma \times \sum_{k=1}^n \alpha_k \times W_{bio,k} \quad (11)$$

gdzie:

A – powierzchnia uprawy,

M_{plon} – masa plonu na jednostkę powierzchni uprawy,

γ – ogólna wydajność masowa biopaliwa z uprawy,

α_k – udział masy k-tego gatunku biopaliwa,

$W_{bio,k}$ – wartość opałowa k-tego gatunku biopaliwa.

Oczywiście, jeśli w danym systemie produkcyjnym powstaje tylko jeden gatunek paliwa, wzór powyższy upraszcza się do postaci:

$$E_{bio} = A \times M_{plon} \times \gamma \times W_{bio} \quad (12)$$

W przypadku biopaliw płynnych całkowita ilość energii zawartej w biopaliwie jest trudna do jednoznacznego oszacowania, gdyż zależy od rodzaju szeregu operacji technologicznych następujących na kolejnych późniejszych etapach przetwórstwa, które będą musiały być uwzględnione w dalszych etapach pracy. Wzór (12) w najprostszym przypadku może być jednoznacznie wykorzystany w sytuacji, gdy biopaliwem jest bezpośrednio biomasa pochodzenia rolnego poddana spalaniu bez dalszego przetwarzania (wówczas $\gamma=1$).

Na podstawie równań (10) i (12) można sformułować postać zależności $E_{bio}/E_{zuż}$ oraz $(E_{bio}-E_{zuż})/E_{zuż}$. Zależności te przedstawiają równania (13) i (14):

$$\frac{E_{bio}}{E_{zuż}} = \frac{M_{plon} \times \gamma \times \sum_{k=1}^n \alpha_k \times W_{bio,k}}{W_{pal} \times \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i}{d_i}} \quad (13)$$

oraz

$$\frac{E_{bio}-E_{zuż}}{E_{zuż}} = \frac{(M_{plon} \times \gamma \times \sum_{k=1}^n \alpha_k \times W_{bio,k}) - W_{pal} \times \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i}{d_i}}{W_{pal} \times \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i}{d_i}} \quad (14)$$

W sytuacji, gdy stosunek ω_i/d_i jest taki sam we wszystkich operacjach, lub gdy może być zastąpiony wartością średnią $\langle \omega_i/d_i \rangle$ oraz gdy występuje tylko jedna postać wynikowego biopaliwa równania (13) i (14) przyjmują prostszą postać:

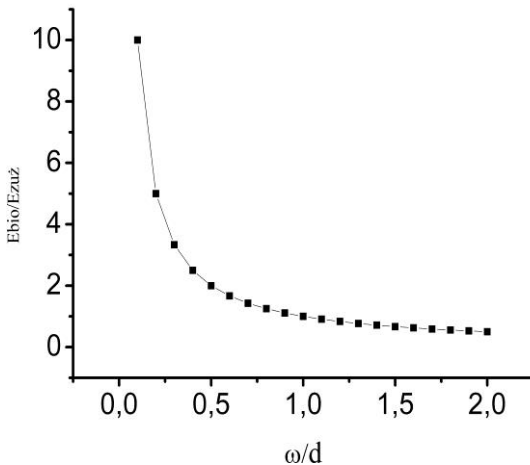
$$\frac{E_{bio}}{E_{zuż}} = \frac{M_{plon} \times \gamma \times W_{bio}}{m \times W_{pal} \times \frac{\omega}{d}} \quad (15)$$

oraz

$$\frac{E_{bio} - E_{zuż}}{E_{zuż}} = \frac{M_{plon} \times \gamma \times W_{bio} - m \times W_{pal} \times \frac{\omega}{d}}{m \times W_{pal} \times \frac{\omega}{d}} \quad (16)$$

Parametr ω/d występujący w powyższych równaniach jest charakterystyką maszyny i może być uważany za miarę energetycznej wydajności. Jest to jedyny w opisywanej sytuacji parametr, który może być niezależnie sterowany (poprzez dobór maszyny). Zależność opisywaną wzorami (15) i (16) schematycznie przedstawiają rysunki (rys. 4 i 5).

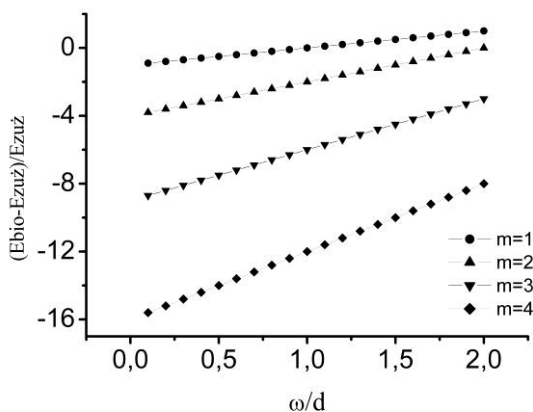
Przedstawione wykresy pokazują charakter zależności w jednostkach umownych i nie umiejscawiają na przedstawionych krzywych realnych wartości występujących w procesach agrotechnicznych. Szczegółowe numeryczne obliczenia będą przedmiotem kolejnej publikacji. Z kształtu krzywych można jednakże wywnioskować, że zależność $E_{bio}/E_{zuż}$ monotonicznie maleje ze wzrostem parametru ω/d .



Rys. 4. Przebieg zależności $E_{bio}/E_{zuż}$ od ω/d

Źródło: opracowanie własne.

Natomiast zależność $(E_{bio}-E_{zuż})/E_{zuż}$ przedstawia funkcję rosnącą wraz ze wzrostem ω/d . Kolejnym wartościom liczby operacji m odpowiadają krzywe położone niżej. Widać również, że funkcja ta może przyjmować wartości zarówno dodatnie, jak i ujemne. Oczywiście zakres ujemnych wartości jest dla praktyki produkcyjnej niekorzystny, gdyż wskazuje, że w tych warunkach zużywana w procesach agrotechnicznych energia byłaby większa od uzyskiwanej w biopaliwie.



Rys. 5. Przebieg funkcji $(E_{bio}-E_{zuż})/E_{zuż}$ od ω/d

Źródło: opracowanie własne.

Przeprowadzone rozważania dotyczą sytuacji, w której cała plantacja jest zlokalizowana na jednym, ciągłym polu. Sytuacji takiej trudno spodziewać się w przypadku większych plantacji współpracujących z dużymi producentami biopaliw. W takim przypadku analiza musi zawierać dodatkowy człon równań opisujący energię zużytą na transport maszyn pomiędzy oddalonymi od siebie polami. Człon taki można zdefiniować w formie czynnika multiplikatywnego, który jakościowo rzecz ujmując będzie wpływał na zmniejszenie energetycznej wydajności plantacji. Szczegółowe rozważania dotyczące tego przypadku będą także przedmiotem oddzielnej publikacji.

Podsumowanie

Wahające się ceny ropy naftowej i gazu ziemnego oraz obawa przed wyczerpywaniem się surowców naturalnych, bądź utrudniony dostęp niektórych krajów do ropy naftowej, nasilają zainteresowanie produkcją paliw ciekłych z biomasy i odpadów

organicznych. Stosowanie surowców pochodzących ze źródeł odnawialnych do produkcji stwarza nowe możliwości wytwarzania energii na skalę przemysłową, jak i na własny użytek.

Współczesna motoryzacja stoi przed kluczowym wyzwaniem, którym jest dążenie do zmniejszania emisji gazów cieplarnianych do atmosfery oraz ograniczania wzrostu popytu na paliwa płynne pochodzenia kopalnego. Samochodowym rynkiem rządzi nie tylko bezpieczeństwo, komfort jazdy, małe zużycie paliwa, ale utrzymujący się od lat trend w zakresie stosowania paliw alternatywnych. Może to być osiągnięte na skutek postępu technicznego, który przejawia się w doskonaleniu nowych pojazdów: hybrydowych, elektrycznych, niskoemisyjnych oraz tworzeniu nowych paliw między innymi biopaliw różnych generacji. Głównymi biopaliwami płynnymi pochodzenia roślinnego są: olej roślinny, biodiesel, bietanol, biometanol.

Rozwiązywanie problemów energetycznych może stać się próba produkcji biodiesla z rzepaku. Duże znaczenie ma forma, w jakiej będzie stosowany substytut oleju napędowego, przy czym oleju roślinnego, nie należy stosować bezpośrednio, lecz poddać go procesowi transestryfikacji. Technologia przetwarzania rzepaku na biodiesel opiera się na potencjalnych przetwórcach (rolnictwo, przemysł).

Analiza wpływu szeregu czynników technologicznych na etapie produkcji rolnej wskazuje, iż w przypadku plantacji funkcjonującej na powierzchni spójnej pod względem geograficznym zużycie energii do celów produkcyjnych jest proporcjonalne do wielkości (arealu) plantacji i nie zależy od kształtu działki. W istotny sposób na wydajność energetyczną wpływa wydajność maszyny stosowanej w zabiegach agrotechnicznych, jej jednostkowe zużycie paliwa, a także liczba przebiegów na obrabianym polu. Przedstawione zależności stwarzają możliwość ilościowej oceny efektywności określonego systemu produkcyjnego w zależności od stosowanej technologii uprawy. Analiza przeprowadzona w obecnej pracy dotyczy plantacji spójnej powierzchniowo.

Literatura

1. Białecka-Florjańczyk E., Stolarzewicz I., Kucharski D. (2009), *Mikrobiologiczne metody otrzymywania biodiesla*, Biotechnologia 4(87)
2. Dyrektywa 2003/87/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 roku ustanawiająca system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie oraz zmieniająca dyrektywę Rady 96/61/WE, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2003, (L 275/32)

3. European Commission (2010), *EU energy and transport in figures*, Statistical Pocketbook
4. Jastrzębska G. (2007), *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa
5. Menes E., Słoński D. (2010), *Energochłonność i emisja dwutlenku węgla generowana przez transport krajów tworzących UE*, Transport Samochodowy 2
6. Orynych O. (2012), *Perspektywy rozwoju produkcji biopaliw ciekłych w indywidualnych gospodarstwach rolnych*, Zarządzanie i Finanse 10 (2/1)
7. Papworth I., Donnelly B., Skinder I. (2007), *UIC study on Railways and Biofuels*, UIC biofuels workshop, Paris
8. Poskrobko B. (2009), *Wpływ idei zrównoważonego rozwoju na politykę państwa i regionów*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, Białystok
9. Sitnik L.J. (2004), *Ekopaliwa silnikowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław

Ecological fuels as the source of clean energy for transportation

Abstract

In the perspective of the closest years the growth of a number of cars will contribute to enlarging energy demand, and to the consumption of oil. This creates problems connected to the growth of pollution of natural environment, particularly the atmosphere, extorting enlarging of the requirements with respect to environmental protection. Simultaneously, many signals indicate exhausting, at least these most accessible, sources of oil. That is why it is necessary to search for supplementary fuels. The intensive investigations are led in both the search for the new resources of mineral fuels (e.g. the shale gas), as well as for alternative fuels.

Production of liquid biofuels appears to be an alternative enabling, at least during a certain time, the replacement for the potential shortages of oil, making up the new source of energy for road transport. Moreover the use of biofuels will not increase the negative ecological results. The use of the methyl esters of rapeseed oil is the attempted solution of the problems occurring in energetic economy and environmental protection. The level of substitution of mineral fuels by and RME has the influence on the CO₂ emission, which is considered as the main cause for the anthropogenic climate change.

The paper presents the scale of the potential demand for biodiesel that can be used as the single component fuel or in the mixture with mineral fuels. The technological routes of the

biodiesel production are also described. Analysis of the energetic efficiency of agricultural subsystem, being the basis assuring resources for biofuel production, is also presented.

Keywords

biofuels, biodiesel, rape, transportation